

역설계를 통한 트랙터 복합작업기 강도분석

이충호*[#]

*전주대학교 산업공학과

A Structural Analysis of the Complex Implements of an Agricultural Tractor using Reverse Design

Choong-Ho Lee*[#]

*School of Engineering, Dept. of Industrial Engineering, Jeonju Univ.

(Received 11 April 2019; received in revised form 25 April 2019; accepted 30 April 2019)

ABSTRACT

This study is a structural analysis of the major components of the implements for an agricultural tractor. To develop an unpowered high-speed implement of an agricultural tractor, the modeling and analysis of the benchmarking product was calculated using 3D scanning and reverse design technologies. The tractive load was calculated using the powertrain efficiencies and soil-propelling force, which were estimated by analyzing the main frame, disc, frames, and chisel plow for the axial loading condition. The final goal of this research is to establish the design parameters and assembly technology for securing disc harrow structures and durability of life. This information will be used to analyze the new model design for domestic consumption.

Key Words : Structural Analysis(구조해석), Unpowered Complex Implements(무동력 복합작업기), Agricultural Tractor(농용트랙터), Reverse Design(역설계), Disc Harrow(디스크해로우)

1. 서 론

트랙터의 PTO(Power take off)동력을 사용하지 않는 무동력디스크 해로우 방식의 경운과 쇠토가 가능한 복합작업기는 기존 로타베이터(Rotavator)와 같은 심경작업보다 작업속도가 매우 빨라 평균 15km/h 정도로 작업하고, 모듈형 구조로 유지보수가 쉽고,생력화가 가능하므로 농작업 비용절감을 할 수 있는 제품이다^[2]. 이와 같은 복합작업기 개발을 위해 무동력 원판 해로우(Disc harrow) 구조

물과 구성 요소와 강도 및 내구수명에 대한 검토를 통해 국산화 원천기술 개발이 필요하다. 복합작업기 설계기술 및 조립기술 확보는 구성요소품 설계 및 제작기술, 원판이 돌과 충돌하거나 견인력과 부하 작용시의 원판보호기술, 대형 구조물의 용접 변형 최소화기술 등을 확보하기 위해서, 돌이 많고 사질양토인 국내 토질에 맞는 제품개발이 필요하다^[3]. 벤치마킹 제품을 3차원스캐닝과 역설계를 통해 얻은 모델링 데이터를 활용하여 트랙터 Powertrain 효율과 토양추진력을 이용한 동력값으로 복합작업기 프레임, 원판디스크 및 디스크 프레임, 치즐쟁기에 가해지는 하중에 대한 해석을 통해 설계인자의 도출이 중요하다^{[1],[4],[5],[6]}. 최종적

Corresponding Author : leech@jj.ac.kr

Tel: +82-63-220-3054, Fax: +82-63-220-2056

으로는 하중스펙트럼(Load spectrum)분석을 통해 피로내구 특성에 대한 연구도 필요하다. 선진 제품의 분석을 통해 얻은 결과값은 토양의 반전, 쇠토, 비닐피복작업과 배수를 위한 고랑작업과 재배작물의 정식을 위한 최적화 제품설계에 반영되고 배토기가 장착 되는 복합작업기 국산화 신제품 설계 개발에 활용된다.

2. 해석 모델

역설계를 이용한 선진제품의 구조 해석 과정은 국산 무동력 디스크 해로우 복합 작업기의 제품 설계단계에서 시스템의 적합성을 평가할 수 있는 중요한 과정이다. CAE해석은 복합작업기 설계 단계에서 발생 할 수 있는 문제점을 사전에 확인 할 수 있으며 시제품의 목표 성능 미 충족 시 구조 변경 및 보강을 할 수 있고, 선진제품의 구조물의 강도와 각 부품의 피로수명을 분석하여 국산화 제품 개발에 적용하여 시간과 비용을 단축할 수 있다. 일차적으로는 정적인 하중분석을 통해 강도를 분석하여 설계를 위한 기초연구를 수행하였다. 소프트웨어는 Autodesk사의 Inventor의 구조해석 기능을 이용하여 무동력 디스크 해로우 복합 작업기의 주요 부품에 대하여 해석을 수행하였다. 벤치마킹 모델은 Fig. 1과 같이 네덜란드의 농기계 전문회사인 Tulip Industries사의 디스크해로우 복합 작업기인 Multidisc 250xl vario's 모델이다.

2.1 최종 개발 목표 선정

무동력 디스크해로우의 전체적인 시스템 특성 및 핵심부품의 역할을 분석하기 위해 선진제품 필드실증시험을 실시하여 작업성 및 Mechanism 분석을 수행하여 연구목표를 수립하였다. 국내외에서 보편적으로 공급된 대형트랙터(90HP~110HP)를 고려해서 100마력, 150마력, 200마력 트랙터에 적용이 가능한지를 검토하였으며, 최소 90마력급 이상의 트랙터로 선정하여 정량적인 개발 목표로 설정하였다. 국산 개발 디스크 해로우는 90마력 이상으로 15km/h 작업속도에 적합하도록 구조해석을 통한 메인프레임,치즐장기, 디스크 등의 주요 부 강도분석을 실시하였다.

2.2 시험하중 도출을 위한 견인력 계산

국산 개발 목표 속도인 15km/h로 트랙터의 견인력을 계산하여 작업기에 걸리는 부하를 예측하였다. 트랙터의 견인력은 소요동력 효율 100%와 Powertrain 효율 및 토양추진력을 감안하여 각 90%, 85%로 가정하여 Table 1과 같이 계산하였다. (P = 소요동력, kw), (T = 토크, kN.m), (ω = 각속도, rad/sec), (v = 속도, km/h)(r = 타이어 동반경, m), (F = 견인력, N), (Traction /22 = 치즐, 디스크 하나에 걸리는 견인력) 마력에 0.736을 곱하여 동력으로 환산 하였고, 속도와 타이어의 반경을 통해 각속도를 산출하였다. 트랙터의 예상 견인력은 Powertrain 100%에 토양추진력 100%로 가정하였을 때 100마력 17,663.99N, 150마력 26,495.99N, 200마력 35,327.99N 이고, Powertrain 90%에 토양추진력을 85%로 가정하였을 때 100마력 13,512.95N, 150마력 20,269.4N, 200마력 27,025.91N 이다. 치즐과 디스크에 걸리는 견인력 계산은 치즐과 디스크의 개수인 22개를 각 마력별 예상 견인력으로 (Traction/22) 나누어 해석을 실시하였다. 치즐과 디스크에 작용하는 수직력은 무동력 디스크 해로우 복합작업기 전체 질량 1832.81kg을 17,979.86 N으로 변환 후 치즐과 디스크 전체 개수인 22로 나누어 치즐과 디스크 하나에 걸리는 수직력을 817.26N으로 선정하였다. 해석은 무동력 디스크 해로우 복합작업기 프레임, 치즐, 디스크에 대해 수행하였다.

3. 복합작업기 프레임 해석

무동력 디스크 해로우 복합 작업기는 트랙터의 3점 히치에 연결되고 작업기 메인 프레임 부분과 연결된다. 그렇기 때문에 복합작업기의 경운 및 배토 작업에 있어서 메인 프레임의 안정성은 중요하다. 프레임에 걸리는 하중의 크기는 전체 복합작업기의 무게가 1832.81kg이다. 프레임은 경운및 배토 작업시 디스크와 치즐의 반력이 작용하여 영향을 주고 높은 작업속도와 견인력으로 작업시 프레임에 미치는 영향을 확인하고, 해석을 통해 프레임의 안정성 검토가 필요하다.



Fig. 1 Base model multidisc_250_xl_vario_s

Table 1 Tractor traction

Powertrain 100% / soil thrust 100%							
P (PS)	P (kw)	V (km/h)	Tire r (m)	ω (rad/sec)	T (kN.m)	Traction (N)	Traction / 22
100	73.6	15	0.9	4.63	15.9	17,664.0	802.9
150	110.4	15	0.9	4.63	23.8	26,496.0	1,204.4
200	147.2	15	0.9	4.63	31.8	35,328.0	1,605.8
Powertrain 90% / soil thrust 85%							
	P(kw)	V (km/h)	Tire r (m)	ω (rad/sec)	T (kN.m)	Traction (N)	Traction / 22
100 HP	56.3	15	0.9	4.63	12.2	13,513.0	614.22
150 HP	84.5	15	0.9	4.63	18.2	20,269.4	921.33
200 HP	112.6	15	0.9	4.63	24.3	27,025.9	1,228.5

3.1 복합작업기 프레임 해석조건

메인 프레임의 구조 강도 해석을 하기 위하여 해석에 영향을 미치지 않는 부분을 제거하여 단순화 3D 모델링을 하였다. 해석 조건으로 디스크 해로우가 부착되는 메인프레임의 맨 앞의 프레임과 뒤쪽 프레임이 고정된 것으로 가정하여 Fixed support로 구속하였고, 중력 방향으로 디스크와 치즐 무게를 모두 포함한 무동력 디스크 해로우 복합 작업기의 전체 무게 1832.81kg이 작용하도록 하고, 메인프레임의 3점히치 부분에 트랙터의 견인력이 작용하여 복합작업기의 진행방향으로 힘이 작용하는 것으로 가정 하였다. Table 2와 Table 3은 프레임의 물성과 기계적 특성을 나타내며, 인장강도가 약 345MPa이다. Table 4와 Fig. 2에서, 프레임의 변형량은 약 0.05mm~0.14mm이고, 폰미세스 응력은 26.35MPa~68.92Mpa으로 3점 히치가 연결되는 부분에서 변위와 폰 미세스 응력이

최대로 나타났다. 해석결과 Powertrain 100% 와 토양반발력 100%일 때 100마력, 150마력 200마력에서 모두 최대 인장강도를 초과하는 부분은 발견되지 않았으며 안전계수 또한 3.00~7.85까지 나오는 것으로 볼 때 복합작업기의 구조적인 안정성은 문제가 없다고 사료된다. 최대 응력과 최대 변위 값을 보이는 곳은 트랙터와 3점 히치 연결부와 연결되는 전면부이며 Powertrain 100%로 200마력의 값으로 해석을 하였을 때 응력값은 재질의 최대 인장강도 이내이며 실제로는 보강 브라켓이 부착되어 강도를 보강해야 될 것이다. 무동력 디스크 해로우 복합 작업기 메인 프레임은 복합작업에 무리 없이 안전하게 설계되었다고 판단된다.

Table 2 Mechanical property of the steel

Mass density	7.85g/cm ³
Ultimate tensile strength	345 MPa
Yield strength	207 MPa
Modulus of elasticity	210 GPa
Shear modulus	80.7692 GPa

Table 3 Physical properties of steel

Mass	606.036 kg
Area	20293400 mm ²
Volume	77202100 mm ³
The center of gravity	x=-1256.10 mm y=-1234.97 mm z=228.684 mm

Table 4 Von mises stress of frame

Powertrain 100% / soil thrust 100%			
Power (HP)	Von mises stress (MPa)	Max deformation (mm)	Min. safety coeff.
100	34.47	0.07	6.00
150	51.69	0.10	4.00
200	68.92	0.14	3.00
Powertrain 90% / soil thrust 85%			
Power (HP)	Von mises stress (MPa)	Max deformation (mm)	Min. safety coeff.
100	26.35	0.05	7.85
150	39.55	0.08	5.23
200	57.74	0.10	3.92

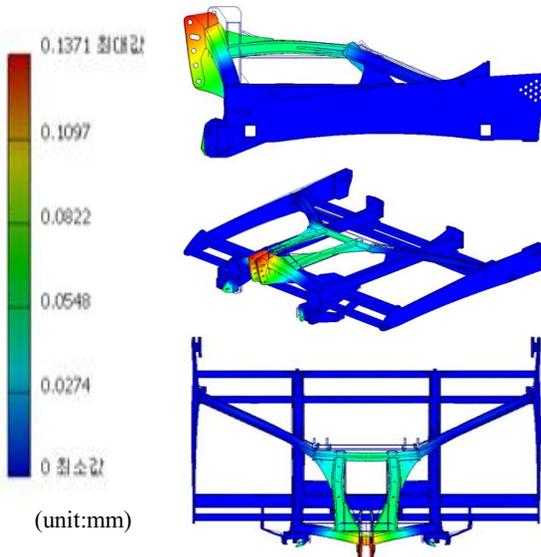


Fig. 2 Deformation for powertrain 100%,soil thrust 100%, 200HP

4. 치즐쟁기 구조해석

Fig. 3에서 별도로 표시한 부분이 디스크헤로우 복합작업기의 치즐 부분이다. 작업기 단품별 하중 계산에서 구한 마력별로 치즐에 걸리는 최대 하중을 적용하여 해석을 수행하였다. 복합작업기에서 치즐 쟁기의 역할은 1차적으로 디스크가 흙을 한번 갈아주며, 이후 치즐 쟁기가 땅속 15cm 이상을 갈아서 심경 작업을 할 수 있어 효율적으로 작업 할 수 있다. 트랙터 유압으로 작업 깊이 조절 할 수 있어 작업 조건에 맞도록 치즐이 설계되었는지 확인하기 위하여 마력과 깊이별로 치즐에 작용하는 응력을 해석하였다.

4.1 치즐쟁기의 해석조건

Mixed element type을 사용하여 Mesh node수 22919개, Element수 12677개로 Mesh를 구성하였다. 치즐이 연결된 파트는 핀으로 연결되어 고정된 상태이고, 상부에 2개의 핀이 전체 프레임의 유압실린더에 의해 움직이게 되는데 작업 시 유압실린더는 일정하게 유지하게 된다. 해석 시에는

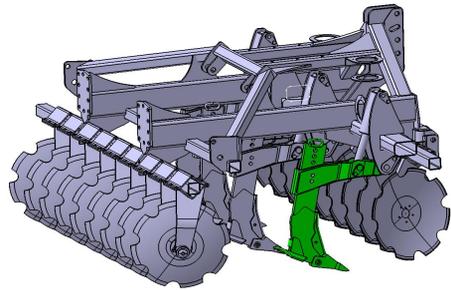


Fig. 3 Chisel position from complex implements

Table 5 Material property of SS400

Yield strength (MPa)		Tensile strength (MPa)
16t less than	16t excess, 40t less than	
245	235	400 ~ 510

유압실린더 부분을 제외하고 핀 연결 부분에 Fixed 조건으로 설정하여 움직임을 구속시켰다.

치즐의 특성상 심경작업을 하는 부분으로 Table 5에서와 같이 SS400 재질로 해석을 실시하였다. 치즐이 작업 시 지면과 맞닿게 되는 면에 위에서 계산된 각 치즐에 작용하는 하중인 100마력일 때 802.90N, 150마력일 때 1,204.363N, 200마력일 때 1,605.81N을 적용하였고, 작업깊이 100, 200, 300 mm일 때 작용하는 견인력에 대한 분석을 수행하였다. 치즐 한개당 작용하는 수직력은 817.26N로 작용하는 면에 수직방향으로 하중을 부여하였다.

4.2 치즐 구조해석 결과

무동력 디스크 헤로우 복합 작업기 치즐 재질은 SS400 으로 항복강도 245MPa 최대 인장강도가 약 500MPa이다. Table 6은 치즐 응력 해석 결과 값이고 마력과 깊이를 달리하여 해석하였다. 상대적으로 쟁기보다는 쟁기가 복합작업기 프레임과 연결되는 암에 더 많은 응력이 작용 하는 것을 알 수 있었다. 작업 깊이와 마력이 증가할수록 작용하는 힘이 증가하나 Powertrain 100%, 토양 반발력 100% 200마력 작업 깊이 300mm 조건에서 최대 폰 미세스 응력은 86.36Mpa로 재질의 항복강도와 인장강도보다 작은 값을 보인다. 이를 미루

Table 6 Chisel & chisel arm von mises stress(Mpa)

Powertrain 100% / soil thrust 100%				
Power(HP)	Tillage depth	100 mm	200 mm	300mm
100	chisel	11.30	18.35	34.69
	chisel arm	17.79	33.02	39.97
150	chisel	16.71	29.74	52.04
	chisel arm	26.68	46.72	59.94
200	chisel	27.69	49.29	52.57
	chisel arm	35.44	63.82	86.36
Powertrain 90% / soil thrust 85%				
Power(HP)	Tillage depth	100 mm	200 mm	300mm
100	chisel	8.50	17.62	26.53
	chisel arm	13.62	23.85	30.50
150	chisel	17.00	30.32	39.81
	chisel arm	20.42	35.75	46.96
200	chisel	12.68	21.86	28.12
	chisel arm	28.80	47.66	65.55

어 볼 때 치즐쟁기의 구조는 안전하게 설계되었다고 판단된다. Table 7은 치즐의 각 방향별 주변형량 및 전체 변형량으로 복합작업기 작업 진행 방향인 X방향의 변위가 상대적으로 크게 변하는 것을 알 수 있으며 1mm이하의 변형량을 보여주고 있다.

Table 7 Total deformation for chisel axis of x,y,z(mm)

Powertrain 100% / soil thrust 100%				
Power(HP)	Tillage depth	100 mm	200 mm	300mm
100	X-axis	0.166	0.288	0.367
	Y-axis	0.005	0.009	0.010
	Z-axis	0.089	0.156	0.201
	Total	0.167	0.290	0.369
150	X-axis	0.247	0.431	0.549
	Y-axis	0.007	0.011	0.015
	Z-axis	0.133	0.233	0.300
	Total	0.249	0.434	0.552
200	X-axis	0.329	0.574	0.731
	Y-axis	0.009	0.017	0.024
	Z-axis	0.177	0.311	0.401
	Total	0.332	0.578	0.734
Powertrain 90% / soil thrust 85%				
Power (HP)	Tillage depth	100 mm	200 mm	300mm
100	X-axis	0.127	0.220	0.282
	Y-axis	0.003	0.006	0.008
	Z-axis	0.035	0.119	0.154
	Total	0.128	0.221	0.283
150	X-axis	0.190	0.330	0.420
	Y-axis	0.005	0.009	0.012
	Z-axis	0.102	0.178	0.230
	Total	0.191	0.332	0.422
200	X-axis	0.253	0.439	0.562
	Y-axis	0.008	0.012	0.019
	Z-axis	0.136	0.238	0.307
	Total	0.255	0.442	0.564

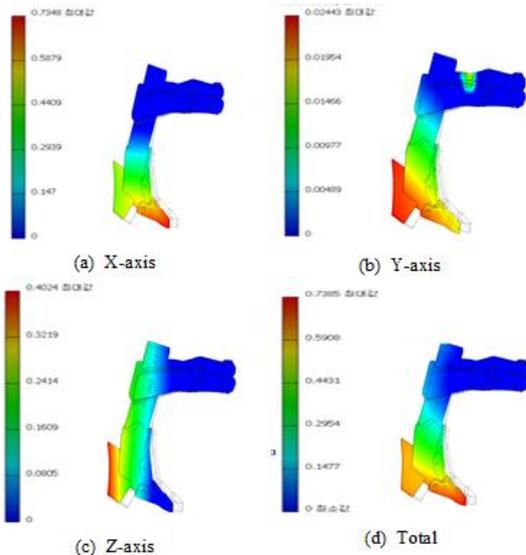


Fig. 4 Deformation of powertrain 100%, soil thrust 100% and 200HP

5. 디스크 구조해석

디스크의 역할은 20cm이내의 깊이로 지면을 반전, 배토, 쇄토해 주는 역할을 한다. 디스크는 돌이 많고 사질양토인 국내특성에 맞는 제품개발을 위해 해석을 진행하였다. 디스크부분의 해석은 각도에 따른 응력 변화 값을 통해 안전한 설계를 위해 지면과 맞닿는 각도별로 0°, 9°, 18°, 27°, 36°의 각도를 가정하여 모델링하고 해석하였다. 마력, 각도에 따라 디스크에 각각 수직력, 횡력, 견인력의 값을 산정하여 폰 미세스 응력, 접촉압력을 확인하는 해석과 X, Y, Z축에 대한 각 방향별 변위량을 확인하는 해석을 수행하였다. Table 8은 디스크 해로우 각도별 투영 면적을 산출한 것이다.

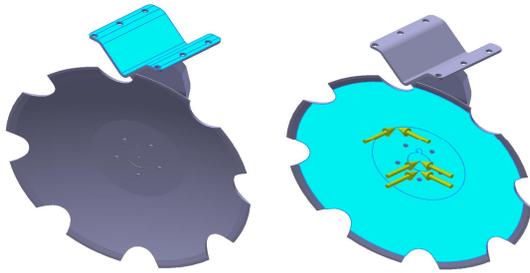


Fig. 5 Fixed support & force direction

Table 8 Projected area of each disc angle

Angle(deg.)	Area(mm ²)
0°	25549.171
9°	51066.458
18°	82457.289
27°	124557.003
36°	160040.665

Table 9 Traction, lateral force

Powertrain 100% / soil thrust 100%						
Angle	100 HP		150 HP		200 HP	
	Traction	Lateral-force	Traction	Lateral-force	Traction	Lateral-force
0°	802.91	0	1,204.37	0	1,605.82	0
9°	802.91	127.168	1,204.37	190.75	1,605.82	254.34
18°	802.91	260.88	1,204.37	391.32	1,605.82	521.76
27°	802.91	409.10	1,204.37	613.65	1,605.82	818.20
36°	802.91	583.35	1,204.37	875.02	1,605.82	1,166.70
Powertrain 90% / soil thrust 85%						
Angle	100 HP		150 HP		200 HP	
	Traction	Lateral-force	Traction	Lateral-force	Traction	Lateral-force
0°	614.23	0	921.34	0	1,228.45	0
9°	614.23	97.28	921.34	145.93	1,228.45	194.57
18°	614.23	199.58	921.34	299.36	1,228.45	399.15
27°	614.23	312.96	921.34	469.44	1,228.45	625.93
36°	614.23	446.26	921.34	669.39	1,228.45	892.52

5.1 디스크 구조해석 조건

작업 20cm 정도의 디스크는 Ø620로 재질은 SS400이다. Fig. 5의 왼쪽은 Fixed Support로 디스크는 총 18개로, 각 디스크 1개당 총 6개의 볼트로 전체 프레임과 연결되어 구속이 제한되어 전체 프레임과 맞닿게 되는 면 전체를 Fixed 조건으로

설정하여 움직임을 제한시켰다. Fig. 5의 오른쪽은 작용력을 트랙터의 마력(100 HP, 150 HP, 200 HP)별, 디스크의 각도(0°, 9°, 18°, 27°, 36°)별로 디스크 면에 각각 견인력 효율 100%일때 802.91N, 90%일 때 614.22N, 횡방향 견인력 (Vertical Tractive Force)×tanθ, 수직력 817N(Table 9)을 산출하였다.

Table 10 Disc, disc frame von mises stress & contact pressure (MPa)

Powertrain 100% / soil thrust 100%						
		0°	9°	18°	27°	36°
100 HP	Disc von mises stress	37.46	38.98	56.98	86.81	115.01
	Disc frame contact pressure	133.64	140.63	193.86	237.16	254.29
	Frame von mises stress	49.68	41.04	62.52	84.55	101.61
150 HP	Disc von mises stress	56.04	58.54	85.64	130.43	172.77
	Disc frame contact pressure	200.41	211.19	291.10	356.07	381.83
	Frame von mises stress	74.36	61.42	93.95	127.02	152.61
200 HP	Disc von mises stress	74.62	78.09	114.31	174.07	230.54
	Disc frame contact pressure	267.13	281.78	388.26	475.05	509.38
	Frame von mises stress	99.07	81.75	125.41	169.46	203.61
Powertrain 90% / soil thrust 85%						
Angle		0°	9°	18°	27°	36°
100 HP	Disc von mises stress	28.7	29.8	43.5	66.3	87.9
	Disc frame contact P.	102.3	107.5	148.2	181.3	194.2
	Frame von mises stress	38.1	31.4	47.8	64.6	77.7
150 HP	Disc von mises stress	42.9	44.8	65.4	99.7	132.1
	Disc frame contact P.	153.3	161.4	222.5	272.3	291.9
	Frame von mises stress	57.0	47.0	71.8	97.1	116.7
200 HP	Disc von mises stress	57.2	59.7	87.4	133.1	176.2
	Disc frame contact	204.4	215.4	296.7	363.2	389.5
	Frame von mises stress	75.9	62.6	95.8	129.6	155.7

Table 11 Deformation for each x,y,z and total direction of the disc harrow(unit:mm)

Powertrain 100% / soil thrust 100%						
angle		0°	9°	18°	27°	36°
100 HP	X-axis	0.0009	0.0014	0.0010	0.0028	0.0280
	Y-axis	0.2046	0.2931	0.3787	0.4737	0.5349
	Z-axis	0.0840	0.0610	0.0859	0.1190	0.1436
	Total	0.2608	0.3691	0.4943	0.6553	0.7865
150 HP	X-axis	0.0014	0.0021	0.0016	0.0047	0.0425
	Y-axis	0.3071	0.4402	0.5687	0.7115	0.8034
	Z-axis	0.1255	0.0910	0.1289	0.1786	0.2155
	Total	0.3913	0.5542	0.7423	0.9839	1.1809
200 HP	X-axis	0.0019	0.0029	0.0021	0.0065	0.0570
	Y-axis	0.4098	0.5874	0.7588	0.9493	1.0719
	Z-axis	0.1670	0.1210	0.1719	0.2382	0.2874
	Total	0.5218	0.7392	0.9902	1.3126	1.5754
Powertrain 90% / soil thrust 85%						
angle		0°	9°	18°	27°	36°
100 HP	X-axis	0.0007	0.0011	0.0008	0.0020	0.0212
	Y-axis	0.1564	0.2240	0.2893	0.3619	0.4087
	Z-axis	0.0645	0.0469	0.0657	0.0910	0.1098
	Total	0.1995	0.2823	0.3778	0.5008	0.6011
150 HP	X-axis	0.0011	0.0016	0.0012	0.0034	0.0323
	Y-axis	0.2348	0.3365	0.4347	0.5438	0.6141
	Z-axis	0.0962	0.0698	0.0986	0.1366	0.1648
	Total	0.2993	0.4237	0.5675	0.7522	0.9028
200 HP	X-axis	0.0014	0.0022	0.0016	0.0048	0.0434
	Y-axis	0.3133	0.4491	0.5801	0.7257	0.8195
	Z-axis	0.1280	0.0928	0.1315	0.1821	0.2198
	Total	0.3991	0.5653	0.7572	1.0036	1.2046

5.2 디스크 구조해석 결과

외부하중에 의한 디스크 해로우의 응력은 디스크에 하중점 주위로 일부 나타나고 디스크 프레임에서 가장 큰 응력이 나타나는 부분은 Fixed로 고정된 플레이트와 디스크프레임을 연결하는 파트사이 연결부에서 가장 크게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. Table 10에서와 같이 마력이 커질 때와 각도가 커질 때 디스크 폰 미세스 응력, 디스크 프레임 접촉압력, 프레임 폰 미세스 응력 모두 증가하는 것을 확인 할 수 있었고, 변위에 따른 디스크의 뒤틀림을 확인 할 수 있었다. 가장 큰 값은 효율 100%, 200마력, 36°일 때 디스크 폰 미세스 응력 230.54Mpa, 디스크프레임 접촉압력 509.38Mpa, 프레임 폰 미세스 응력 203.61 Mpa로 나타났다. 또 효율이 90%일 때도 200마력, 36°일 때가 모든 값이 가장 큰 것을 확인할 수 있다. Table 11은 X, Y, Z축에 대한 각 방향별 주변형량

및 전체 변형량을 나타내었으며, 복합작업기 작업 진행방향인 X방향의 변위가 상대적으로 크게 변하는 것을 알 수 있으며 1mm이하의 변형량을 보여주고 있다.

6. 결 론

본 연구는 무동력 복합작업기 개발을 위해 벤치마킹을 위해 구입한 제품의 강도분석을 통해 설계인자를 도출하기 위하여, 스캐닝을 통해 역설계 모델링을 수행한 후, 구조 해석을 주요부인 프레임, 치즐쟁기, 디스크 해로우 3부분으로 나누어 해석을 수행하였다. 프레임과 디스크해로우의 구속 조건은 서로 연결되는 면을 중심으로 선택하였고, 치즐쟁기는 고정형 유압기에 연결되는 핀과 프레임과 연결된 핀을 선택했다. 견인력은 Powertrain 효율이 100%, 토양추진력이 100%라고 가정하였으며, 100마력의 힘은 17,663N이고 150마력은 26,495 N, 200마력은 35,327N을 프레임에 작용하는 하중으로 사용하였다. 치즐쟁기와 디스크 해로우는 총 22개이기 때문에 견인력을 22로 나누어 하중을 적용하였다. 그 결과 프레임의 최대 폰 미세스 응력은 68.92MPa, 치즐쟁기의 폰 미세스 응력은 쟁기에는 52.57MPa 압에는 86.36MPa로 압에 더 큰 응력이 가해지는 것을 알 수 있었다. 디스크해로우의 최대 폰 미세스 응력은 200마력이 적용될 때, 230.54 MPa이다. 구조해석 결과 최종 개발 제품의 목표 성능인 100마력급 트랙터에서는 문제 없이 작업을 할 수 있을 것으로 보이며, 150마력과 200마력에 대해서는 재료의 항복강도를 넘어서는 값을 확인 하였고, 재질을 변경하거나 취약 부분은 보론강 등 소재의 설계 변경을 통해 강도를 충족 할 수 소재선정 등 제품개발에 활용하였다.

REFERENCES

1. Jeon, E. C., Kim, S. Y., Han, M. S., Kim, T. H., "The Study on Application of Reverse Engineering on Correction of a Product Error by Rapid Prototyping", Journal of the Korean

- Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 6, No. 4, pp.8-14, 2007.
2. Kim, S. H., Kim, H. J., “Development of High Speed mid-Mower for Tractor(II)”, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 5, pp. 80-85, 2016.
 3. Kim, T. G., Kim, T. H., Park, J. H., Park, Y. C., “Selection and Verification of Press Forming Pipe Model using Pipefitting”, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 3, pp. 43-49, 2015.
 4. Lee, C. H., “Inspection of Composite Working Implement of Tractor using 3D Scanning and Reverse Design”, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16, No. 3, pp. 45-53, 2017.
 5. Lee, C. H., Lee, J. H., Kim, J. H., Chae, T. B., “Reverse Design of Composite Working Implement of Unpowerd Harrow using 3D Scanner”, Proceeding of the Korean Society Agri. Machinery(KSAM) Spring Conference, Vol. 21, No. 1, pp. 209-210, 2016.
 6. Lee, C. H., Lee J. H., Kim, J. H, Chae, T. B., Cho Y. T., Kang, D. S., "Reverse design of multi-disc tractor implements using 3D scanning technology", Proc. of Korean Soc. Manuf. Process Eng. Autumn Conference, pp.201-202, 2016.